

# APLISENS<sup>®</sup>

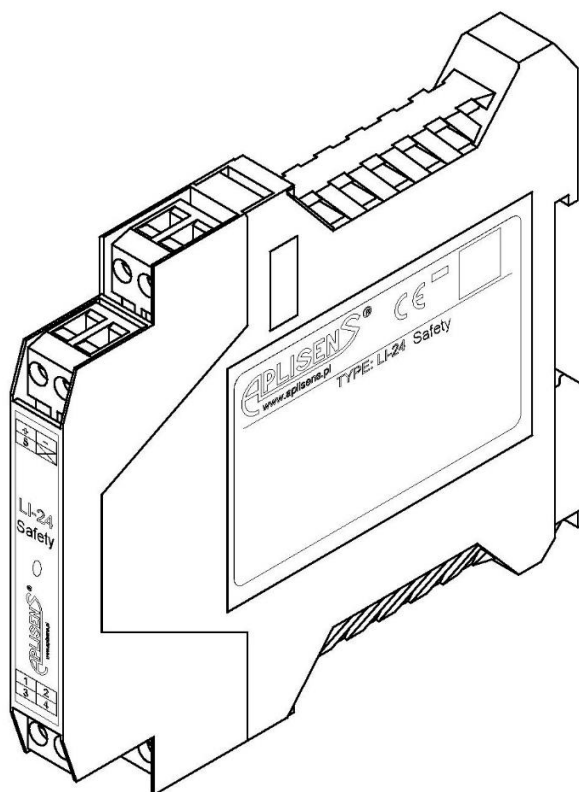
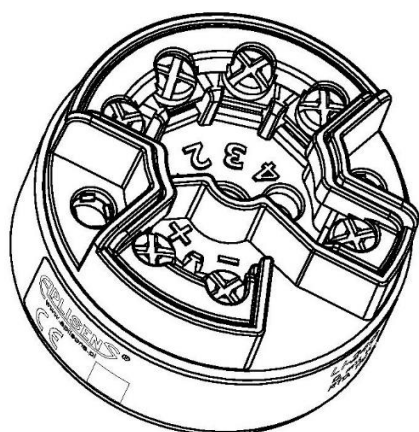
APLISENS S.A. – Produkcja Przemysłowej  
Aparatury Pomiarowej i Elementów Automatyki

## INSTRUKCJA BEZPIECZEŃSTWA SIL

PRZETWORNIKI TEMPERATURY

**LI-24L Safety**

**LI-24G Safety**



APLISENS S.A., 03-192 Warszawa, ul. Morelowa 7

tel. +48 22 814 07 77; fax +48 22 814 07 78

[www.aplisens.pl](http://www.aplisens.pl), e-mail: [marketing@aplisens.pl](mailto:marketing@aplisens.pl)

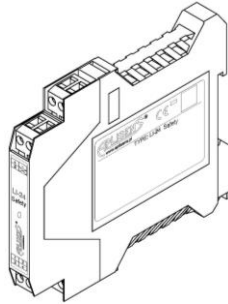
KOD WYROBU – patrz punkt 5.2 Instrukcji Obsługi.

Kod QR lub numer ID umożliwia identyfikację przetwornika oraz szybki dostęp do dokumentacji znajdującej się na stronie producenta: instrukcji obsługi, instrukcji bezpieczeństwa SIL, instrukcji urządzenia budowy przeciw-wybuchowej, deklaracji zgodności oraz kopii certyfikatów.

## LI-24L Safety

ID:0003 0005 0003 0000 0000 0000 0001 26

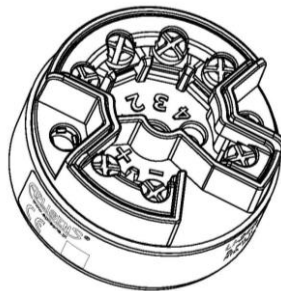
<https://aplisens.pl/ID/00030005000300000000000000000000126/00000000>




## LI-24G Safety

ID:0004 0006 0003 0000 0000 0000 0001 89

<https://aplisens.pl/ID/00040006000300000000000000000000189/00000000>



## Stosowane oznaczenia

Symbol	Opis
	Ostrzeżenie o konieczności ścisłego stosowania informacji zawartych w dokumentacji dla zapewnienia bezpieczeństwa i pełnej funkcjonalności urządzenia.

## PODSTAWOWE WYMAGANIA ZWIĄZANE Z BEZPIECZEŃSTWEM FUNKCJONALNYM



Producent nie ponosi odpowiedzialności za szkody wynikające z niewłaściwego za-  
instalowania urządzenia, nieutrzymania go we właściwym stanie technicznym oraz  
użytkowania niezgodnego z jego przeznaczeniem.

Instalacja powinna być przeprowadzona przez wykwalifikowany personel posiadają-  
cy uprawnienia do instalowania urządzeń elektrycznych oraz aparatury kontrolno-  
pomiarowej. Na instalatorze spoczywa obowiązek wykonania instalacji zgodnie  
z instrukcją oraz przepisami i normami dotyczącymi bezpieczeństwa i kompatybilno-  
ści elektromagnetycznej, właściwymi dla rodzaju wykonywanej instalacji.

Należy przeprowadzić konfigurację systemu E/E/PE związanego z bezpieczeń-  
stwem zgodnie z zastosowaniem. Niewłaściwa konfiguracja może spowodować  
błędne działanie prowadzące do uszkodzenia systemu E/E/PE związanego z bez-  
pieczeństwem lub wypadku.

W trakcie instalowania, użytkowania i przeglądów systemu E/E/PE związanego  
z bezpieczeństwem należy uwzględnić wszystkie wymogi bezpieczeństwa i ochrony.

W przypadku stwierdzenia wadliwego działania systemu E/E/PE związanego z bez-  
pieczeństwem, należy go odłączyć od instalacji i oddać do naprawy producentowi.

W celu zminimalizowania możliwości wystąpienia awarii i związanych z tym zagro-  
żeń dla personelu, unikać instalowania i używania systemu E/E/PE związanego  
z bezpieczeństwem w szczególnie niekorzystnych warunkach, gdzie występują na-  
stępujące zagrożenia:

- udary mechaniczne, silne wstrząsy i wibracje;
- nadmierne wahania temperatury;
- kondensacja pary wodnej, zapylenie, oblodzenie.



Przetworniki serii LI-24L(G) Safety do pracy w pętli bezpieczeństwa funkcjonalnego  
powinny być skonfigurowane na sygnał wyjściowy 4...20 mA. Protokół HART można  
wykorzystywać do diagnostyki jak i konfiguracji wyrobu na stanowisku pracy. Po  
wykonaniu konfiguracji i uruchomieniu systemu bezpieczeństwa funkcjonalnego,  
należy korzystać tylko z analogowego prądowego sygnału wyjściowego. Ze wzglę-  
dów bezpieczeństwa należy uniemożliwić osobom postronnym dostęp do zmiany  
nastaw przetworników. Przetworniki posiadają możliwość blokady zmiany nastaw  
programowo.

Zmiany wprowadzane w produkcji wyrobów mogą wyprzedzać aktualizację dokumentacji papierowej  
użytkownika. Aktualne instrukcje znajdują się na stronie internetowej producenta pod adresem  
[www.aplisens.pl](http://www.aplisens.pl).

## SPIS TREŚCI

<b>1. LI-24L SAFETY DEKLARACJA ZGODNOŚCI SIL</b> .....	<b>6</b>
<b>2. LI-24G SAFETY DEKLARACJA ZGODNOŚCI SIL</b> .....	<b>7</b>
<b>3. CERTYFIKAT SIL</b> .....	<b>8</b>
<b>4. DEFINICJE I SKRÓTOWCE</b> .....	<b>9</b>
<b>5. INFORMACJE OGÓLNE</b> .....	<b>10</b>
<b>5.1. Parametry techniczne</b> .....	<b>10</b>
<b>6. OPIS WYMAGAŃ BEZPIECZEŃSTWA ORAZ RESTRYKCJE</b> .....	<b>10</b>
<b>6.1. Alarmy</b> .....	<b>11</b>
<b>6.2. Restrykcje</b> .....	<b>13</b>
<b>6.3. Uwagi dotyczące bezpieczeństwa cybernetycznego</b> .....	<b>13</b>
<b>7. NAPRAWA</b> .....	<b>13</b>
<b>8. DANE NIEZAWODNOŚCIOWE</b> .....	<b>14</b>
<b>8.1 Rodzaje uszkodzeń w czujnikach temperatury</b> .....	<b>14</b>
<b>8.2 Dane niezawodnościowe przetworników temperatury</b> .....	<b>16</b>
<b>9. REJESTR ZMIAN</b> .....	<b>18</b>
<b>ZAŁĄCZNIK A. TESTY FUNKCJI BEZPIECZEŃSTWA (PROOF TEST) ...</b>	<b>19</b>
<b>ZAŁĄCZNIK B. SCHEMAT BLOKOWY TESTU SPRAWDZAJĄCEGO (PROOF TEST).</b> .....	<b>23</b>

## SPIS TABEL

<b>Tabela 1.</b> Parametry techniczne przetworników LI-24L(G) Safety.....	<b>10</b>
<b>Tabela 2.</b> Temperatura pracy (otoczenia) dla przetworników LI-24L(G) Safety.....	<b>10</b>
<b>Tabela 3.</b> Detekcja uszkodzeń czujników w przetwornikach temperatury LI-24L Safety i LI-24G Safety.....	<b>14</b>
<b>Tabela 4.</b> Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika rezystancyjnego 2-przewodowego lub 3- przewodowego z bliskim połączeniem bez przetwornika temperatury. ....	<b>15</b>
<b>Tabela 5.</b> Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika rezystancyjnego 2-przewodowego lub 3- przewodowego z połączeniem odległościowym bez przetwornika temperatury.....	<b>15</b>
<b>Tabela 6.</b> Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika rezystancyjnego 4-przewodowego z bliskim połączeniem bez przetwornika temperatury.....	<b>15</b>
<b>Tabela 7.</b> Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika rezystancyjnego 4-przewodowego z połączeniem odległościowym bez przetwornika temperatury.....	<b>15</b>

<b>Tabela 8.</b> Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika termoelektrycznego z bliskim połączeniem bez przetwornika temperatury.....	15
<b>Tabela 9.</b> Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika termoelektrycznego z połączeniem odległościowym bez przetwornika temperatury.....	16
<b>Tabela 10.</b> Dane niezawodnościowe dla LI-24L Safety. ....	16
<b>Tabela 11.</b> Odstępy testów okresowych dla LI-24L Safety. ....	17
<b>Tabela 12.</b> Dane niezawodnościowe dla LI-24G Safety. ....	17
<b>Tabela 13.</b> Odstępy testów okresowych dla LI-24G Safety. ....	18

## SPIS RYSUNKÓW

<b>Rysunek 1.</b> Wskaźnik diodowy LED w przetworniku LI-24L Safety.....	12
--	----

## DEKLARACJA ZGODNOŚCI SIL

Numer dokumentu PL.DZ.LI.24.L.SIL.ID.REV1

Producent: **APLISENS S.A.**,  
ul. Morelowa 7, 03-192 Warszawa, Polska

Deklaruję z pełną odpowiedzialnością, że:

**inteligentne listwowe przetworniki temperatury**  
**LI-24L Safety ID: 0003 0005 0003 XXXX XXXX XXXX XXXX XX<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>X w kodzie ID jest oznaczeniem producenta niezwiązanym z certyfikatem

spełniają wymagania norm:

**PN-EN 61508:2010 części 1÷7**

**PN-EN 61511-1:2017-07 + PN-EN 61511-1:2017-07/A1:2018-03**

**PN-EN 62061:2008 + PN-EN 62061:2008/A1:2013-06 + PN-EN 62061:2008/A2:2016-01**

Konfiguracje	$\lambda_{total}$ FIT	$\lambda_{NE}$ FIT	$\lambda_{SD}$ FIT	$\lambda_{SU}$ FIT	$\lambda_{DD}$ FIT	$\lambda_{DU}$ FIT	SFF %	DC %	MTBF
1 RTD 2p	721,502	219,665	38,550	11,643	425,222	26,422	94,735	94,150	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat
1 RTD 3p	721,502	218,845	38,550	11,643	426,042	26,422	94,744	94,160	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat
1 RTD 4p	721,502	218,025	38,550	11,643	426,862	26,422	94,752	94,171	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat
2 RTD 2p	721,502	218,025	38,550	11,643	426,862	26,422	94,752	94,171	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat
2 RTD 3p	721,502	216,385	38,550	11,643	428,502	26,422	94,769	94,192	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat
1 TC no CJC	721,502	220,905	38,550	11,643	423,982	26,422	94,722	94,134	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat
1 TC int CJC	721,502	218,545	38,550	11,643	426,132	26,632	94,705	94,118	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat
1 TC ext CJC	721,502	218,025	38,550	11,643	426,862	26,422	94,752	94,171	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat
2 TC no CJC	721,502	219,685	38,550	11,643	425,202	26,422	94,735	94,150	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat
2 TC int CJC	721,502	217,325	38,550	11,643	427,352	26,632	94,718	94,134	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat
2 TC ext CJC	721,502	216,805	38,550	11,643	428,082	26,422	94,765	94,187	1,386×10 <sup>6</sup> h 158 lat

HFT=0, Route 1 <sub>H</sub>	SIL 2
HFT=1, Route 1 <sub>H</sub>	SIL 3
Systematic Capability, Route 1 <sub>s</sub>	SC 3 (SIL 3 Capable)
Subsystem	Type B

Wyroby mogą być użyte w systemach związanych z bezpieczeństwem, spełniających wymagania do SIL 3 włącznie. Weryfikacja SIL systemu związanego z bezpieczeństwem należy do obowiązku integratora systemu.

Certyfikat o numerze 940/CW/001 został wydany przez UDT–CERT, Urząd Dozoru Technicznego, ul. Szczęśliwicka 34, 02-353 Warszawa w dniu: 10.01.2020.

Warszawa, 16.01.2020

**Daniel Samczak**  
Koordynator ds. Bezpieczeństwa Funkcjonalnego

## DEKLARACJA ZGODNOŚCI SIL

Numer dokumentu PL.DZ.LI.24.G.SIL.ID.REV1

Producent: **APLISENS S.A.**,  
ul. Morelowa 7, 03-192 Warszawa, Polska

Deklaruję z pełną odpowiedzialnością, że:

**inteligentne głowicowe przetworniki temperatury**  
**LI-24G Safety ID: 0004 0006 0003 XXXX XXXX XXXX XXXX XX<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>X w kodzie ID jest oznaczeniem producenta niezwiązanym z certyfikatem

spełniają wymagania norm:

**PN-EN 61508:2010 części 1÷7**

**PN-EN 61511-1:2017-07 + PN-EN 61511-1:2017-07/A1:2018-03**

**PN-EN 62061:2008 + PN-EN 62061:2008/A1:2013-06 + PN-EN 62061:2008/A2:2016-01**

Konfiguracje	$\lambda_{total}$ FIT	$\lambda_{NE}$ FIT	$\lambda_{SD}$ FIT	$\lambda_{SU}$ FIT	$\lambda_{DD}$ FIT	$\lambda_{DU}$ FIT	SFF %	DC %	MTBF
1 RTD 2p	693,502	204,135	38,550	11,643	412,752	26,422	94,601	93,984	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat
1 RTD 3p	693,502	203,315	38,550	11,643	413,572	26,422	94,610	93,995	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat
1 RTD 4p	693,502	202,495	38,550	11,643	414,392	26,422	94,619	94,006	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat
2 RTD 2p	693,502	202,495	38,550	11,643	414,392	26,422	94,619	94,006	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat
2 RTD 3p	693,502	200,855	38,550	11,643	416,032	26,422	94,637	94,028	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat
1 TC no CJC	693,502	205,375	38,550	11,643	411,512	26,422	94,587	93,967	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat
1 TC int CJC	693,502	203,015	38,550	11,643	413,662	26,632	94,570	93,951	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat
1 TC ext CJC	693,502	202,495	38,550	11,643	414,392	26,422	94,619	94,006	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat
2 TC no CJC	693,502	204,155	38,550	11,643	412,732	26,422	94,601	93,983	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat
2 TC int CJC	693,502	201,795	38,550	11,643	414,882	26,632	94,584	93,968	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat
2 TC ext CJC	693,502	201,275	38,550	11,643	415,612	26,422	94,632	94,023	1,442×10 <sup>6</sup> h 164 lat

HFT=0, Route 1 <sub>H</sub>	SIL 2
HFT=1, Route 1 <sub>H</sub>	SIL 3
Systematic Capability, Route 1 <sub>s</sub>	SC 3 (SIL 3 Capable)
Subsystem	Type B

Wyroby mogą być użyte w systemach związanych z bezpieczeństwem, spełniających wymagania do SIL 3 włącznie. Weryfikacja SIL systemu związanego z bezpieczeństwem należy do obowiązku integratora systemu.

Certyfikat o numerze 940/CW/001 został wydany przez UDT–CERT, Urząd Dozoru Technicznego, ul. Szczęśliwicka 34, 02-353 Warszawa w dniu: 10.01.2020.

Warszawa, 16.01.2020

**Daniel Samczak**  
Koordynator ds. Bezpieczeństwa Funkcjonalnego





Urząd Dozoru Technicznego  
UDT-CERT

## CERTYFIKAT

Nr 940/CW/001

Urząd Dozoru Technicznego  
Jednostka Certyfikująca Wyroby UDT-CERT

poświadcza, że

przetwornik temperatury

LI-24L Safety ID: 0003 0005 0003 XXXX XXXX XXXX XXXX XX<sup>1)</sup>

przetwornik temperatury

LI-24G Safety ID: 0004 0006 0003 XXXX XXXX XXXX XXXX XX<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> X w kodzie ID jest oznaczeniem producenta niezwiązanym z certyfikatem.

produkcji

**APLISENS S.A.**

**ul. Morelowa 7**

**03-192 Warszawa**

spełniają wymagania norm:

**PN-EN 61508:2010 części 1 ÷ 7**

**PN-EN 61511-1:2017-07 + PN-EN 61511-1:2017-07/A1:2018-03**

**PN-EN 62061:2008 + PN-EN 62061:2008/A1:2013-06 + PN-EN 62061:2008/A2:2016-01**

dla poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa:

**do SIL 3 włącznie, dla HFT=1 według Route 1<sub>H</sub>**

**do SIL 2 włącznie, dla HFT=0 według Route 1<sub>H</sub>**

oraz spełniają wymagania dla nienaruszalności systematycznej:

**do SC3 włącznie według Route 1<sub>s</sub>**

**Parametry niezawodnościowe certyfikowanych wyrobów przedstawiono w załączniku do certyfikatu.**

Wyroby mogą być użyte w systemach związanych z bezpieczeństwem, spełniających wymagania do SIL3 włącznie. Weryfikacja SIL systemu związanego z bezpieczeństwem należy do obowiązku integratora systemu.

Warunki wydania certyfikatu zgodności oraz jego ważności zawarte są w załączniku.

Data wydania **10.01.2020**



Dyrektor Departamentu Certyfikacji  
i Oceny Zgodności

Jacek Niemczyk

UDT-CERT, 02-353 WARSZAWA, ul. SZCZEŚLIWICKA 34



## 4. DEFINICJE I SKRÓTOWCE

**SIL** – poziom nienaruszalności bezpieczeństwa. Jest to poziom dyskretny 1 z 4 możliwych, odpowiadający zakresowi wartości nienaruszalności bezpieczeństwa, gdzie poziom nienaruszalności bezpieczeństwa 4 ma najwyższy poziom integralności bezpieczeństwa natomiast poziom nienaruszalności bezpieczeństwa 1 ma poziom najniższy.

**SFF** – udział uszkodzeń bezpiecznych. Procentowy udział bezpiecznych uszkodzeń/usterek, które nie mogą spowodować awarii systemu. Im wyższa wartość, tym niższe prawdopodobieństwo niebezpiecznego uszkodzenia systemu.

**DC** – pokrycie diagnostyczne. Miara zdolności systemu do wykrywania uszkodzeń. Stosunek między wskaźnikami uszkodzeń wykrytych a wskaźnikiem wszystkich uszkodzeń w systemie.

**PFH** – prawdopodobieństwo niebezpiecznego uszkodzenia na godzinę.

**PFD<sub>avg</sub>** – średnie prawdopodobieństwo uszkodzenia na przywołanie. Średnie prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznego uszkodzenia funkcji bezpieczeństwa w trybie pracy na żądanie.

**MTBF** – średni czas pomiędzy uszkodzeniami. Opisuje czas pracy pomiędzy dwoma następującymi po sobie uszkodzeniami podzespołów. Samo wskazanie MTBF odnosi się do niezawodności urządzenia.

**HFT** – tolerancja defektów sprzętu. Zdolność urządzenia do dalszego realizowania wymaganej funkcji bezpieczeństwa pomimo wystąpienia błędów.

**MTTR** – średni czas odnowy. Średni czas między wystąpieniem uszkodzenia a zakończeniem naprawy. MTTR obejmuje czas potrzebny na wykrycie uszkodzenia, rozpoczęcie działań naprawczych i pełne ich zakończenie.

**MRT** – oczekiwany całkowity czas naprawy (nie obejmuje czasu na wykrycie uszkodzenia).

**FMEDA** – Failure Modes Effects and Diagnostics Analysis. Szczegółowa analiza różnych trybów uszkodzeń i możliwości diagnostycznych urządzenia.

**ALARM\_L** – stan alarmu diagnostycznego, w którym prąd I\_ALARM\_L jest mniejszy od 3,600 mA.

**FIT** – uszkodzenia w czasie. Wartość określana jako współczynnik uszkodzeń ( $\lambda$ ) na miliard godzin.

$\lambda$  – współczynnik intensywności uszkodzeń. Określa liczbę uszkodzeń układu w jednostce czasu.

$\lambda_{SD}$  – współczynnik intensywności uszkodzeń bezpiecznych wykrywalnych.

$\lambda_{SU}$  – współczynnik intensywności uszkodzeń bezpiecznych niewykrywalnych.

$\lambda_{DD}$  – współczynnik intensywności uszkodzeń niebezpiecznych wykrywalnych.

$\lambda_{DU}$  – współczynnik intensywności uszkodzeń niebezpiecznych niewykrywalnych.

$\lambda_{NE}$  – współczynnik intensywności uszkodzeń bez efektu.

$\lambda_{total}$  – współczynnik intensywności uszkodzeń (suma wszystkich składowych współczynników intensywności uszkodzeń).

## 5. INFORMACJE OGÓLNE

Funkcją bezpieczeństwa przetworników **LI-24L Safety** oraz **LI-24G Safety** jest pomiar temperatury z założoną precyzją oraz dokładnością. Pomiar ten steruje proporcjonalnie prądem w dwuprzewodowej pętli prądowej 4...20mA.

Przetworniki temperatury serii **LI-24L(G) Safety** w wykonaniu standardowym, iskrobezpiecznym Exi stosowane są do pomiaru w systemach zapewniających poziom nienaruszalności bezpieczeństwa **SIL2** zgodnie z **PN-EN 61508:2010**.

### 5.1. Parametry techniczne

**Tabela 1.** Parametry techniczne przetworników LI-24L(G) Safety.

Wykonanie	Zasilanie	Alarmy diagnostyczne	
Exi	10 ÷ 30 V DC	Diagnostyczny wewnętrzny	niski (LO)<3,600 mA
		Krytyczny	niski (LO)<<3,600 mA
		Diagnostyczny zewnętrzny PLC	wysoki (HI)>20,820 mA
Standardowe	10 ÷ 36 V DC	Diagnostyczny wewnętrzny	niski (LO)<3,600 mA
		Krytyczny	niski (LO)<<3,600 mA
		Diagnostyczny zewnętrzny PLC	wysoki (HI)>20,820 mA

**Tabela 2.** Temperatura pracy (otoczenia) dla przetworników LI-24L(G) Safety.

Temperatura otoczenia		
Wyrób	Wykonanie standardowe (min; max)	Wykonanie Exi (min; max)
<b>LI-24L Safety</b>	- 40 ÷ 85 °C	- 40 ÷ 85 °C *)
<b>LI-24G Safety</b>	- 40 ÷ 85 °C	- 40 ÷ 70 °C *)

\*) W przypadku wykonań iskrobezpiecznych z uwagi na możliwe ograniczenia normy ATEX maksymalna temperatura pracy przetworników wynosi:

- **LI-24L Safety dla:**

T4= - 40 ÷ 85 °C;  
T5= - 40 ÷ 55 °C.

- **LI-24G Safety dla:**

T5= - 40 ÷ 70 °C;  
T6= - 40 ÷ 50 °C.

## 6. Opis wymagań bezpieczeństwa oraz restrykcje

W następujących warunkach pracy funkcja bezpieczeństwa nie jest gwarantowana:

- podczas konfiguracji przetwornika za pomocą komunikacji HART®;
- gdy jest aktywny HART multi-drop;
- podczas symulacji stanów za pomocą komunikacji HART;
- podczas testów odporności EMC;
- gdy blokada zapisu jest wyłączona.



Przetwornik skonfigurowany do pracy w pętli bezpieczeństwa funkcjonalnego po wykonaniu niezbędnych ustawień związanych z jego identyfikacją, metrologią i trybami alarmowymi, **musi** mieć ustawioną blokadę zapisu danych do przetwornika, wykonaną poprzez protokół HART za pomocą Raport 2 lub oprogramowania zewnętrznego stosującego biblioteki DD lub DTM.

HART® jest znakiem zastrzeżonym FieldComm Group.

Dopuszczalny przyjęty w analizie FMEDA bezpieczny margines wysterowania analogowego wyjścia prądowego dla błędów typu „No Effect” wynosi: **2%**.

Czas maksymalny wykonania pełnego cyklu diagnostyk: **2 minuty**.

Okres użytkowania: **50 lat**, wyznaczony na podstawie zużycia komponentów.

Czas użytkowania nie dotyczy przyłączy procesowych i czujników RTD/TC.

## 6.1. Alarmy

Przetworniki temperatury LI-24L(G) Safety posiadają system alarmów uruchamianych w skutek wykrycia stanów zagrażających przez diagnostykę wewnętrzną.

Wykrywane przez diagnostykę przetwornika będą stany zagrażające takie jak:

- uszkodzenie pamięci FLASH oraz RAM mikrokontrolera CPU;
- przepełnienie stosu mikrokontrolera CPU;
- błąd transmisji z ADC mierzącym wielkość procesową (uszkodzenia toru przesyłu pomiarowego sygnału cyfrowego poprzez barierę galwaniczną);
- zbyt niskie napięcia zasilania przetwornika;
- przekroczenia wartości granicznych zasileń w obwodach mikrokontrolera CPU;
- przekroczenia wartości granicznych zasileń w obwodach przetwornika ADC mierzącego wielkość procesową;
- uszkodzenia referencji ratiometrycznych lub ich ponadnormatywne dryfty;
- uszkodzenia lub ponadnormatywne dryfty źródeł napięcia odniesienia;
- uszkodzenia w integralności wykonywania programu CPU;
- uszkodzenia połączeń pomiędzy komponentami lub komponentów toru pomiarowego ADC, zasileń w obszarze pomiarowym czujnika;
- uszkodzenia połączeń pomiędzy komponentami lub komponentów toru przetwarzania D/A oraz U/I;
- przekroczenie dopuszczalnej granicy 2% pomiędzy prądem zadanym (procesowym) a zmierzonym w pętli 4...20 mA;
- przekroczenia granicznych temperatur pracy przetwornika ADC mierzącego wielkość procesową;
- uszkodzenia polegające na zwarciu lub rozwarciu którejkolwiek gałęzi połączeń czujnika/czujników temperatury z przetwornikiem.

Część diagnostyk posiada progi zadziałania eliminujące zdarzenia stochastyczne na rzecz zdarzeń skorelowanych. Dotyczy to w szczególności możliwych wpływów zakłóceń EMC na transmisję cyfrową w obszarach magistrali SPI oraz w obszarze wzmacniaczy sygnału izolacji galwanicznej.

Wykryte przez diagnostykę przetwornika **nie będą**:

- błędy pomiaru temperatury wynikłe z uszkodzenia czujnika pomiarowego w konfiguracji jedno lub dwuczujnikowej w przypadku gdy pomimo uszkodzenia czujnika polegającego na zafałszowaniu wartości pomiaru zachowana jest ciągłość elektryczna połączeń do czujnika;
- ponadnormatywne drgania lub udary, chyba że doprowadzi to do destrukcji wewnętrznych elementów lub połączeń elektrycznych skutkujących uszkodzeniami analizowanymi w FMEDA.

Ze względu na charakter zasilania i interfejsu elektrycznego przetwornika do sygnalizacji stanów alarmowych zastosowany jest alarmowy poziom prądu.

W trybie alarmu diagnostycznego przetwornik powinien wystawiać prąd nominalny o wartości:  **$I_{ALARM\_L} = 3,600\text{ mA} - E$**  gdzie E to przyjęty w założeniach FMEDA dopuszczalny błąd bezpieczny 2%, równoważny  $\pm 0,320\text{ mA DC}$  w prądzie pętli prądowej. Ostatecznie nominalna wartość zadana prądu w trybie ALARM\_L wynosić powinna 3,280 mA.

Diagnostyka przetwornika nie stosuje trybu alarmowania prądem powyżej zakresu 20,500 mA. Jednak pewna niewielka część uszkodzeń może nie zostać wykryta przez wewnętrzną diagnostykę i może spowodować wzrost prądu procesowego ponad 20,500 mA + E gdzie E to przyjęty w założeniach FMEDA dopuszczalny błąd bezpieczny 2%, równoważny  $\pm 0,320\text{ mA DC}$  w prądzie pętli prądowej.

**Z tego powodu konfiguruje się PLC do współpracy z przetwornikiem prąd powyżej wartości 20,820 mA należy rozpatrywać jako Dangerous Detected i uszkodzenie niebezpieczne diagnostyczne.**

Wartość prądu  $I_{ALARM\_L}$  (FAIL SAFE) w zwykłym trybie diagnostycznym jest mniejsza od 3,600 mA i wynosi nominalnie **3,280 mA**. W trybie alarmu krytycznego wartość prądu  $I_{ALARM\_L}$  (FAIL SAFE) jest mniejsza od **3,600 mA** i wynosi nominalnie około **0,300 mA**.

### **Alarmy diagnostyczne są załączone na stałe i nie podlegają jakiegokolwiek konfiguracji.**

W przypadku wystąpienia alarmów krytycznych, mikrokontroler przekazuje niezwłocznie sterowanie do pętli nieskończonej powodując uruchomienie niezależnego układu watchdoga WDT\_SIL z dyskryminatorem czasowym. Układ WDT\_SIL przy braku odświeżania w czasie do maks. 2s odłączy elektronikę główną przetwornika od zasilania powodując spadek prądu poniżej 0,3 mA. Stan ten będzie trwał aż do czasu całkowitego odłączenia zasilania od przetwornika i jego ponownego załączenia.

Przyczynami krytycznych alarmów są:

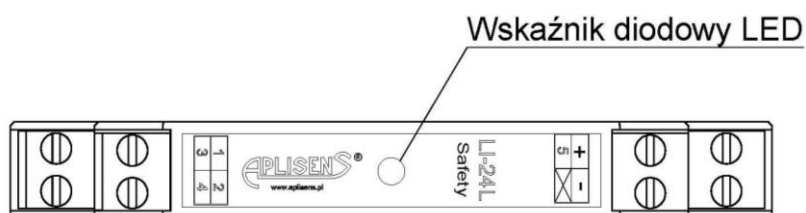
- błąd zmiennoprzecinkowych obliczeń matematycznych;
- wykrycie błędów pamięci RAM;
- wykrycie błędów pamięci FLASH;
- wykrycie błędów rejestrów CPU;
- niezgodność 3 sukcesywnych pomiarów prądu pętli prądowej z wartością zadaną prądu;
- zakłócenie automatu programu skutkujące wyjściem poza okno czasowe odświeżania WDT\_SIL;
- przekroczenie dolnego progu napięcia zasilania mikrokontrolera CPU.

Alarmowe stany diagnostyczne (poza krytycznymi) są możliwe do odczytu poprzez komunikację HART. Oprogramowanie Raport 2 lub inne oprogramowanie stosujące biblioteki DD/DTM umożliwia dokładniejszą identyfikację przyczyny alarmu.

### **Przetwornik wyposażony jest we wskaźnik diodowy LED, który sygnalizuje stan pracy urządzenia.**

Opis wyświetlanych monitów:

- kolor zielony – poprawny stan pracy;
- kolor czerwony – uszkodzenie sprzętowe;
- pulsujący kolor czerwony – brak lub niewłaściwe podłączenie czujnika RTD/TC, przekroczone temperatury otoczenia, ponadnormatywne dryfty napięć referencyjnych;
- wskaźnik diodowy nie świeci – alarm krytyczny (przetwornik odłącza się od zasilania).



**Rysunek 1.** Wskaźnik diodowy LED w przetworniku LI-24L Safety.

## 6.2. Restrykcje

Restrykcje przy użytkowaniu przetworników serii LI-24L(G) Safety w układach bezpieczeństwa funkcjonalnego obejmują następujące zagadnienia:

- przetwornik pomiarowy **musi** być dostosowany do aplikacji uwzględniając warunki otoczenia pracy;
- **nie należy przekraczać** dopuszczalnych zakresów pracy przetwornika;
- wadliwy przetwornik należy wymienić **niezwłocznie** po stwierdzeniu niesprawności.

## 6.3. Uwagi dotyczące bezpieczeństwa cybernetycznego

Przemysłowe systemy sterowania, które dotychczas pracowały jako izolowane systemy, bazują teraz na otwartych platformach, mają punkty styku z teleinformatyczną siecią przedsiębiorstwa oraz korzystają z łączności, realizowanej za pośrednictwem Internetu publicznego lub najczęściej sieci słabo chronionych. Mając na uwadze cyberbezpieczeństwo po wykonaniu niezbędnych ustawień przetwornika związanych z jego identyfikacją, metrologią i trybami alarmowymi, przetwornik musi mieć włączone blokady zdalnego (HART) zapisu danych lub zmiany nastaw.

Po wykonaniu konfiguracji i uruchomieniu systemu bezpieczeństwa funkcjonalnego, należy korzystać tylko z analogowego prądowego sygnału wyjściowego. Odpowiedzialność za cyberbezpieczeństwo spoczywa na operaterze systemu, który musi zapewnić bezpieczne połączenie pomiędzy systemem E/E/PE związanym z bezpieczeństwem a siecią zakładową. Operator ustanawia i utrzymuje wszelkie odpowiednie środki uwierzytelniania, szyfrowania i instalowania odpowiedniego oprogramowania służącego do ochrony systemu automatyki, które muszą posłużyć przeciwko wszelkim naruszeniom bezpieczeństwa, nieautoryzowanemu dostępowi, ingerencji, włamaniom, przekłamaniom i kradzieży danych.

Jeżeli w wyniku cyberataku zostanie przekroczona progowa liczba nieautoryzowanych prób dostępu do zmiany hasła lub zmiany zabezpieczenia zapisu, nastąpi uruchomienie alarmu w przetworniku. Dostęp funkcji wyłączenia blokady chroniony jest za pomocą 32 bitowego hasła (4,3 mld kombinacji). Po 20 nieautoryzowanych próbach dostępu załącza się alarm trwający do chwili resetu programowego lub sprzętowego przetwornika.

Aplisens S.A. i jego spółki zależne nie ponoszą odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody i/lub straty związane z takimi naruszeniami bezpieczeństwa jak: nieautoryzowany dostęp, ingerencja, włamanie, wyciek i/lub kradzież danych lub informacji.

## 7. Naprawa

Nie dopuszcza się żadnych napraw ani innych ingerencji w układ elektroniczny przetwornika. Oceny uszkodzenia i ewentualnej naprawy może dokonać jedynie serwis APLISENS S.A. Funkcje bezpieczeństwa nie mogą być zagwarantowane, jeśli naprawy dokona ktokolwiek inny.

## 8. Dane niezawodnościowe

### 8.1 Rodzaje uszkodzeń w czujnikach temperatury

Podstawowym warunkiem optymalnego bezpieczeństwa w punkcie pomiaru temperatury jest prawidłowa konstrukcja czujnika odpowiadająca wymaganiom procesowym. Kolejnym krokiem jest dobór dostosowanego do systemów bezpieczeństwa przetwornika temperatury, który spełni wymagania bezpieczeństwa funkcjonalnego przewidzianego do danego pomiaru temperatury.

W celu określenia punktu pomiarowego temperatury dostosowanego do systemu związanego z bezpieczeństwem należy uwzględnić poniższe aspekty:

- bezpieczny stan urządzenia i funkcja bezpieczeństwa każdego elementu muszą być określone przez użytkownika urządzenia;
- wymagany poziom nienaruszalności bezpieczeństwa musi zdefiniować użytkownik systemu bezpieczeństwa poprzez ocenę ryzyka;
- należy dokładnie zdefiniować warunki pracy czujnika (medium procesowe, wpływy otoczenia) w celu optymalnego określenia punktu pomiaru temperatury;
- należy przestrzegać instrukcji podanych w dokumentacji producenta stosowanego czujnika temperatury;
- sprawdzić, czy części zwilżane są odpowiednie dla medium pomiarowego.

Rodzaje uszkodzeń czujników temperatury:

- rozwarcie – obwód pomiarowy jest przerwany;
- zwarcie – obwód pomiarowy jest zwarty (zwarcie elementu pomiarowego);
- dryft – spowodowany zmianami w materiale rezystora bądź dryft w napięciu termoelektrycznym.

Zależnie od możliwości detekcji uszkodzeń stosowanego przetwornika temperatury należy określić typy współczynników intensywności uszkodzeń ( $\lambda_{SD}$ ,  $\lambda_{SU}$ ,  $\lambda_{DD}$ ,  $\lambda_{DU}$ ) dla różnych rodzajów defektów czujników temperatury.

W celu oszacowania współczynników intensywności uszkodzeń całego zespołu czyli przetwornika z podłączonym czujnikiem należy przeliczyć odpowiednią konfigurację wejściową przetwornika z wybranym czujnikiem temperatury.

**Tabela 3.** Detekcja uszkodzeń czujników w przetwornikach temperatury LI-24L Safety i LI-24G Safety.

Rodzaj uszkodzenia czujnika	RTD 2p	RTD 3p	RTD 4p	TC
Rozwarcie	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$
Zwarcie	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DU}$
Dryft	$\lambda_{DU}$	$\lambda_{DU}$	$\lambda_{DU}$	$\lambda_{DU}$

RTD – czujnik rezystancyjny;

Xp – czujnik w układzie X-przewodowym;

TC – termopara.

Rodzaje uszkodzeń termopar i czujników rezystancyjnych podane są w literaturze dla różnych zastosowań i konfiguracji. Wskaźniki awaryjności odnoszą się do „najgorszego przypadku” uszkodzeń czujników i służą jako wytyczne do projektowania przyrządowych systemów bezpieczeństwa. Wskaźniki uszkodzeń należy stosować z uwzględnieniem warunków pracy i przewodu połączeniowego między punktem pomiarowym i przetwornikiem. Różnią się one w zależności od wymagań dotyczących wibracji występujących w miejscu eksploatacji (niskie obciążenie/wysokie obciążenie) i typu połączenia między punktem pomiarowym a przetwornikiem temperatury (bliskie połączenie z przetwornikiem głowicowym lub odległościowe z przetwornikiem listwowym).



**Tabela 4.** Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika rezystancyjnego 2-przewodowego lub 3-przewodowego z bliskim połączeniem bez przetwornika temperatury.

Kategoria zastosowania czujnika	Wartość współczynnika intensywności uszkodzeń
Niskie obciążenie	48,0 FIT
Wysokie obciążenie	960,0 FIT

Rodzaj uszkodzenia czujnika	Rozkład procentowy uszkodzenia
Rozwarcie	79,0
Zwarcie	3,0
Dryft	18,0

**Tabela 5.** Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika rezystancyjnego 2-przewodowego lub 3-przewodowego z połączeniem odległościowym bez przetwornika temperatury.

Kategoria zastosowania czujnika	Wartość współczynnika intensywności uszkodzeń
Niskie obciążenie	475,0 FIT
Wysokie obciążenie	9500,0 FIT

Rodzaj uszkodzenia czujnika	Rozkład procentowy uszkodzenia
Rozwarcie	78,0
Zwarcie	2,0
Dryft	20,0

**Tabela 6.** Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika rezystancyjnego 4-przewodowego z bliskim połączeniem bez przetwornika temperatury.

Kategoria zastosowania czujnika	Wartość współczynnika intensywności uszkodzeń
Niskie obciążenie	50,0 FIT
Wysokie obciążenie	1000,0 FIT

Rodzaj uszkodzenia czujnika	Rozkład procentowy uszkodzenia
Rozwarcie	83,0
Zwarcie	5,0
Dryft	12,0

**Tabela 7.** Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika rezystancyjnego 4-przewodowego z połączeniem odległościowym bez przetwornika temperatury.

Kategoria zastosowania czujnika	Wartość współczynnika intensywności uszkodzeń
Niskie obciążenie	500,0 FIT
Wysokie obciążenie	10000,0 FIT

Rodzaj uszkodzenia czujnika	Rozkład procentowy uszkodzenia
Rozwarcie	82,0
Zwarcie	4,0
Dryft	14,0

**Tabela 8.** Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika termoelektrycznego z bliskim połączeniem bez przetwornika temperatury.

Kategoria zastosowania czujnika	Wartość współczynnika intensywności uszkodzeń
Niskie obciążenie	100,0 FIT
Wysokie obciążenie	2000,0 FIT

Rodzaj uszkodzenia czujnika	Rozkład procentowy uszkodzenia
Rozwarcie	95,0
Zwarcie	4,0
Dryft	1,0

**Tabela 9.** Współczynniki intensywności uszkodzeń dla czujnika termoelektrycznego z połączeniem odległościowym bez przetwornika temperatury.

Kategoria zastosowania czujnika	Wartość współczynnika intensywności uszkodzeń
Niskie obciążenie	1000,0 FIT
Wysokie obciążenie	20000,0 FIT

Rodzaj uszkodzenia czujnika	Rozkład procentowy uszkodzenia
Rozwarcie	90,0
Zwarcie	5,0
Dryft	5,0

Podane w tabelach współczynniki intensywności uszkodzeń opierają się na danych niezawodnościowych z Electrical & Mechanical Component Reliability Handbook firmy Exida, Third Edition, Volume 1.

## 8.2 Dane niezawodnościowe przetworników temperatury

**Tabela 10.** Dane niezawodnościowe dla LI-24L Safety.

Konfiguracja	$\lambda_{total}$ FIT	$\lambda_{NE}$ FIT	$\lambda_{SD}$ FIT	$\lambda_{SU}$ FIT	$\lambda_{DD}$ FIT	$\lambda_{DU}$ FIT	SFF %	DC %	MTBF
1 RTD 2p	721,502	219,665	38,550	11,643	425,222	26,422	94,735	94,150	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat
1 RTD 3p	721,502	218,845	38,550	11,643	426,042	26,422	94,744	94,160	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat
1 RTD 4p	721,502	218,025	38,550	11,643	426,862	26,422	94,752	94,171	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat
2 RTD 2p	721,502	218,025	38,550	11,643	426,862	26,422	94,752	94,171	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat
2 RTD 3p	721,502	216,385	38,550	11,643	428,502	26,422	94,769	94,192	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat
1 TC no CJC	721,502	220,905	38,550	11,643	423,982	26,422	94,722	94,134	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat
1 TC int CJC	721,502	218,545	38,550	11,643	426,132	26,632	94,705	94,118	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat
1 TC ext CJC	721,502	218,025	38,550	11,643	426,862	26,422	94,752	94,171	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat
2 TC no CJC	721,502	219,685	38,550	11,643	425,202	26,422	94,735	94,150	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat
2 TC int CJC	721,502	217,325	38,550	11,643	427,352	26,632	94,718	94,134	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat
2 TC ext CJC	721,502	216,805	38,550	11,643	428,082	26,422	94,765	94,187	1,386x10 <sup>6</sup> h 158 lat

**Tabela 11.** Odstępy testów okresowych dla LI-24L Safety.

Konfiguracja	T[Proof] = 1 rok	T[Proof] = 2 lata	T[Proof] = 5 lat	T[Proof] = 10 lat
1 RTD 2p	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
1 RTD 3p	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
1 RTD 4p	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
2 RTD 2p	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
2 RTD 3p	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
1 TC no CJC	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
1 TC int CJC	$PFD_{avg} = 1,17 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,33 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,83 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,17 \times 10^{-3}$
1 TC ext CJC	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
2 TC no CJC	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
2 TC int CJC	$PFD_{avg} = 1,17 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,33 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,83 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,17 \times 10^{-3}$
2 TC ext CJC	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$

**Tabela 12.** Dane niezawodnościowe dla LI-24G Safety.

Konfiguracja	$\lambda_{total}$ FIT	$\lambda_{NE}$ FIT	$\lambda_{SD}$ FIT	$\lambda_{SU}$ FIT	$\lambda_{DD}$ FIT	$\lambda_{DU}$ FIT	SFF %	DC %	MTBF
1 RTD 2p	693,502	204,135	38,550	11,643	412,752	26,422	94,601	93,984	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat
1 RTD 3p	693,502	203,315	38,550	11,643	413,572	26,422	94,610	93,995	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat
1 RTD 4p	693,502	202,495	38,550	11,643	414,392	26,422	94,619	94,006	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat
2 RTD 2p	693,502	202,495	38,550	11,643	414,392	26,422	94,619	94,006	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat
2 RTD 3p	693,502	200,855	38,550	11,643	416,032	26,422	94,637	94,028	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat
1 TC no CJC	693,502	205,375	38,550	11,643	411,512	26,422	94,587	93,967	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat
1 TC int CJC	693,502	203,015	38,550	11,643	413,662	26,632	94,570	93,951	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat
1 TC ext CJC	693,502	202,495	38,550	11,643	414,392	26,422	94,619	94,006	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat
2 TC no CJC	693,502	204,155	38,550	11,643	412,732	26,422	94,601	93,983	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat
2 TC int CJC	693,502	201,795	38,550	11,643	414,882	26,632	94,584	93,968	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat
2 TC ext CJC	693,502	201,275	38,550	11,643	415,612	26,422	94,632	94,023	$1,442 \times 10^6$ h 164 lat

Tabela 13. Odstępy testów okresowych dla LI-24G Safety.

Konfiguracja	T[Proof] = 1 rok	T[Proof] = 2 lata	T[Proof] = 5 lat	T[Proof] = 10 lat
1 RTD 2p	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
1 RTD 3p	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
1 RTD 4p	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
2 RTD 2p	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
2 RTD 3p	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
1 TC no CJC	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
1 TC int CJC	$PFD_{avg} = 1,17 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,33 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,83 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,17 \times 10^{-3}$
1 TC ext CJC	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
2 TC no CJC	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$
2 TC int CJC	$PFD_{avg} = 1,17 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,33 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,83 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,17 \times 10^{-3}$
2 TC ext CJC	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 2,31 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 5,79 \times 10^{-4}$	$PFD_{avg} = 1,16 \times 10^{-3}$

<b>Systematic Capability</b>	SC 3 (SIL 3 Capable)
<b>Random Capability</b>	Type B Element SIL2@HFT=0; SIL3@HFT=1; Route 1 <sub>H</sub>

$PFH = \lambda_{DU}$ .

$MTTR = MRT = 8h$ .

Dla wyżej wymienionych wyrobów producent zaleca odstęp testów okresowych: **T[Proof] = 1 rok**.

## 9. Rejestr zmian

Nr zmiany	Edycja dokumentu	Data	Opis zmian
-	01.A.001	11.2019	Pierwsza wersja, opracował dział KBF, DR.
1	01.A.002	01.2020	Dodane deklaracje, certyfikat, dane niezawodnościowe dla czujników temperatury, opracował dział KBF.
2	01.A.003	07.2020	Zmiany redakcyjne. Opracował dział DBFD.

## ZAŁĄCZNIK A. Testy funkcji bezpieczeństwa (Proof Test)

Zaleca się przeprowadzanie testów funkcji bezpieczeństwa (Proof Test), które umożliwiają wykrycie 99% możliwych, niediagnostowanych niebezpiecznych błędów przetworników.

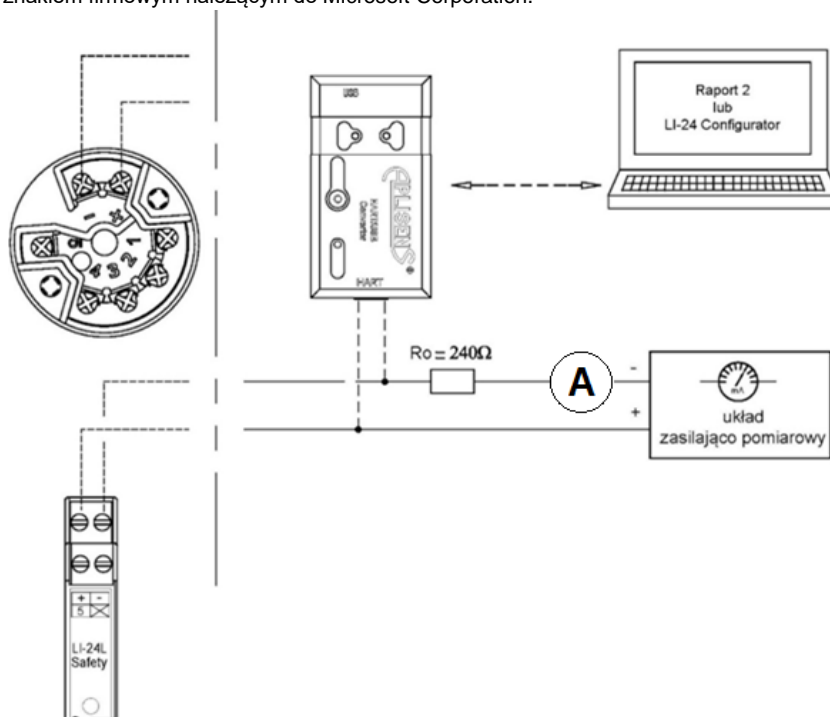
Producent zaleca odstęp testów okresowych  $T[\text{Proof}] = 1 \text{ rok}$ .

Test funkcji bezpieczeństwa wykonywany jest przy pomocy oprogramowania **RAPORT 2** produkcji APLISENS S.A. z pluginem **SIL PROOF TEST**.

### Lista kroków testu funkcji bezpieczeństwa (Proof Test):

1. Skonfigurować PLC pracujący w pętli bezpieczeństwa w tryb pozwalający pominąć pomiary i alarmy z użytego w teście przetwornika.
2. Sprawdzić stan mechaniczny obudowy przetwornika i wymienić odpowiedzialne za szczelność obudowy stwardniałe lub uszkodzone uszczelki i dławnice (dotyczy LI-24G Safety).
3. Sprawdzić stan połączeń elektrycznych (pewności połączeń przewodów do zacisków łączeniowych).
4. Uruchomić na komputerze klasy PC pod kontrolą WINDOWS® oprogramowanie **Raport 2** produkcji APLISENS S.A. Do komputera dołączyć modem HART typu HART/USB produkcji APLISENS S.A. lub inny modem pracujący w standardzie BELL 202. Zasilacz, modem oraz amperomierz "A" podłączyć do pętli prądowej zasilającej badany przetwornik zgodnie ze schematem na **rys. 1**. Pod zaciski pomiarowe przetwornika podłączyć zastępczy czujnik temperatury zgodny z konfiguracją przetwornika. Przetwornik zasilic napięciem 15,00 V DC mierzonym na zaciskach zasilacza.

WINDOWS® jest znakiem firmowym należącym do Microsoft Corporation.



**Rys.1.** Schemat układu podłączenia przetwornika do pętli prądowej w celu przeprowadzenia testu sprawdzającego.

Wykonać identyfikację przetwornika i następnie otworzyć zakładkę „**SIL Proof Test**”. Usunąć programowe zabezpieczenie przed zapisem do przetwornika za pomocą komendy HART. W tym celu w zakładce „**SIL Proof Test**” z menu należy wybrać opcję „**Blokada zapisu**”. Uruchomiony zostanie kreator operacji. Należy postępować zgodnie z instrukcjami kreatora, który w kolejnych krokach zapyta o intencje operatora i wykona niezbędne działania.

5. Celem testu jest walidacja pracy regulatora prądu procesowego w przetworniku oraz walidacja diagnostycznego układu kontrolnego prądu w pętli 4 ... 20 mA. Aby wykonać testy wyjścia analogowego pętli prądowej, na zakładce „**SIL Proof Test**” z menu należy wybrać opcję „**Test wyjścia analogowego**”. Uruchomiony zostanie kreator testu. Należy postępować zgodnie z instrukcjami kreatora, który w kolejnych krokach przeprowadzi testy przetwornika cyfrowo-analogowego, testy regulatora prądu oraz testy toru kontroli prądu pętli prądowej. Kreator kolejno zaleci:
- 5.1. Przetwornik zasilić napięciem 15,00 V DC mierzonym na zaciskach zasilacza. Za pomocą komendy HART wyjście prądowe przetwornika zostanie ustawione na prąd 20,820 mA odpowiadający maksymalnemu bezpiecznemu prądowi przetwornika. Za pomocą referencyjnego miliamperomierza prądu stałego "A" o klasie  $\leq 0,025$  i rezystancji wewnętrznej  $\leq 10 \Omega$  włączonego w pętlę prądową odczytać prąd płynący w linii. Ten test oprócz kontroli wartości prądu alarmowego wykrywa ewentualne problemy związane z minimalnym napięciem zasilania przetwornika, które mogą powstać wskutek spadków napięć na rezystancji linii zasilającej lub rezystancji źródła zasilania.
  - 5.2. Przy ustawionym wyjściu prądowym na prąd 20,820 mA kreator testu odczyta parametr **PViret**. Dopuszczalna odchyłka parametru **PViret** wynosi  $\pm 0,032$  mA.
  - 5.3. Za pomocą komendy HART wyjście prądowe przetwornika zostanie ustawione na prąd 12,000 mA. Za pomocą referencyjnego miliamperomierza prądu stałego "A" o klasie  $\leq 0,025$  włączonego w pętlę prądową odczytać prąd płynący w linii. Ten test wykrywa ewentualne problemy toru przetwarzania cyfrowo-analogowego (np. wskutek uszkodzenia wewnętrznego elementu).
  - 5.4. Za pomocą komendy HART wyjście prądowe przetwornika zostanie ustawione na prąd 3,280 mA odpowiadający prądowi alarmu I\_ALARM\_L (pomniejszonemu o dopuszczalny błąd 2% czyli 0,320 mA). Za pomocą referencyjnego miliamperomierza prądu stałego "A" o klasie  $\leq 0,025$  włączonego w pętlę prądową odczytać prąd płynący w linii. Ten test wykrywa ewentualne problemy związane z nadmiernym prądem jałowym pobieranym przez przetwornik (np. wskutek uszkodzenia wewnętrznego elementu).

Jeżeli wyniki przeprowadzonych pomiarów nie będą spełniać założonych parametrów, kreator testu zaleci wykonanie procedury kalibracji wyjścia analogowego przetwornika.



Jeżeli przy poprawnie przeprowadzonej procedurze kalibracji przetwornik w dalszym ciągu wystawia prąd o wartości odbiegającej od wartości oczekiwanej (z uwzględnieniem dopuszczalnego uchybu wynikającego z instrukcji obsługi), przetwornik niezwłocznie musi zostać odesłany do producenta w celu naprawy.



## 6. Testy pomiaru temperatury procesowej.

Celem testu jest walidacja dokładności pomiaru zmiennej procesowej temperatury poprzez symulację wartości elektrycznej na wejściu pomiarowym przetwornika temperatury. Należy wykonać kontrolę funkcji pomiaru temperatury procesowej dla zakresu i konfiguracji stosowanej w procesowej pętli bezpieczeństwa z użyciem kalibratora temperatur o wymaganej klasie podłączonego odpowiednio pod skonfigurowane zaciski pomiarowe przetwornika temperatury. W tym celu na zakładce „**SIL Proof Test**” należy wybrać opcję „**Test pomiaru temperatury**”. Uruchomiony zostanie kreator testu. Należy postępować zgodnie z instrukcjami kreatora, który w kolejnych krokach przeprowadzi testy temperaturowe. Przetwornik zacznie test od odczytu konfiguracji wejścia, rodzaju czujnika, zakresu pomiarowego temperatury. Jeżeli zmierzona wartość prądu w teście **6.1**, **6.2** lub **6.3** odbiega odpowiednio od wartości oczekiwanych (z uwzględnieniem dopuszczalnego uchybu), należy przeprowadzić procedurę 2 punktowej kalibracji temperatury. Procedurę kalibracji należy wykonać z użyciem kalibratora temperatur o wymaganej klasie podłączonego pod odpowiednio skonfigurowane zaciski pomiarowe przetwornika temperatur. Po wykonaniu kalibracji należy wykonać od nowa czynności z punktu **6** testu.

Kreator kolejno zaleci:

- 6.1.** Przetwornik zasilić napięciem 15,00 V DC mierzonym na zaciskach zasilacza. Za pomocą kalibratora temperatur doprowadzić do przetwornika sygnał referencyjny o wartości odpowiadającej 4 mA (0% zakresu nastawionej temperatury) i przy pomocy miliamperomierza "A" o klasie  $\leq 0,025$  i rezystancji wewnętrznej  $\leq 10 \Omega$  wykonać pomiar prądu płynącego w pętli prądowej.
- 6.2.** Za pomocą kalibratora temperatur doprowadzić do przetwornika sygnał referencyjny o wartości odpowiadającej 12 mA (50% zakresu nastawionej temperatury) i przy pomocy miliamperomierza "A" o klasie  $\leq 0,025$  i rezystancji wewnętrznej  $\leq 10 \Omega$  wykonać pomiar prądu płynącego w pętli prądowej.
- 6.3.** Za pomocą kalibratora temperatury doprowadzić do przetwornika sygnał referencyjny o wartości odpowiadającej 20 mA (100% zakresu nastawionej temperatury) i przy pomocy miliamperomierza "A" o klasie  $\leq 0,025$  i rezystancji wewnętrznej  $\leq 10 \Omega$  wykonać pomiar prądu płynącego w pętli prądowej.



Jeżeli pomimo wykonanej kalibracji 2 punktowej temperatury zmierzona wartość prądu w punkcie **6.1**, **6.2** lub **6.3** odbiega od wartości oczekiwanej (z uwzględnieniem dopuszczalnego uchybu), **test nie zostanie skończony z wynikiem pozytywnym, a przetwornik musi zostać odesłany do producenta w celu naprawy.**

## 7. Testy pomiaru temperatury zimnych końców CJC i temperatury otoczenia.

- 7.1.** Zewrzeć zaciski pomiarowe przetwornika oznaczone ①, ②, ③. Przetwornik zasilić napięciem 15,00 V DC mierzonym na zaciskach zasilacza. Celem badania jest walidacja pomiaru temperatury otoczenia realizowanej przez przetwornik na podstawie pomiaru temperatury realizowanego przez wewnętrzny czujnik przetwornika ADC oraz walidacja wewnętrznego czujnika pomiaru temperatury zimnych końców CJC. W tym celu, po ustabilizowaniu się warunków termicznych w środowisku o temperaturze 15 - 25 °C, należy zmierzyć za pomocą referencyjnego termometru elektronicznego o klasie co najmniej „B” temperaturę korpusu przetwornika. Przez „ustabilizowane warunki termiczne” rozumie się zapewnienie w miarę stabilnej jednorodnej temperatury korpusu przetwornika.
- 7.2.** Z menu zakładki „**SIL Proof Test**” należy wybrać opcję „**Testy środowiskowe**”. Uruchomiony zostanie kreator testu. Należy postępować zgodnie z instrukcjami kreatora, który w kolejnych krokach przeprowadzi testy. Oprogramowanie skonfiguruje odpowiednio przetwornik do testu i odczyta 1, 2, 3 i 4 zmienną procesową (PV, SV, TV, FV). Odpowiadają one kolejno temperaturze procesowej (PV), temperaturze czujnika podstawowego (SV), temperaturze drugiego czujnika (TV) oraz temperaturze przetwornika ADC (FV). Po zakończeniu testu kreator przywróci poprzednią konfigurację przetwornika.



Jeżeli przy poprawnie przeprowadzonej procedurze testu wartości temperatur PV, SV, TV, FV odbiegają od temperatury zmierzonej za pomocą referencyjnego termometru elektronicznego o więcej niż 5 °C, **przetwornik niezwłocznie musi zostać odesłany do producenta w celu naprawy.**

## 8. Testy diagnostyki przerwy w obwodzie czujnika.

- 8.1. Celem testu jest sprawdzenie poprawności działania diagnostyki rozwarcia połączenia galwanicznego z czujnikiem pomiarowym temperatury. W zależności od stosowanej w procesie pomiarowym konfiguracji czujnika temperatury należy podłączyć odpowiednio pod zaciski pomiarowe przetwornika czujniki zastępcze symulujące czujniki obiektowe. Przetwornik zasilić napięciem 15,00 V DC mierzonym na zaciskach zasilacza. Należy postępować zgodnie z instrukcjami kreatora, który w kolejnych krokach wskaże rozwarcie połączenia pomiędzy czujnikiem a określonym zaciskiem pomiarowym. Efektem rozwarcia powinien być prąd alarmowy wynoszący nominalnie 3,280 mA oraz migająca w kolorze czerwonym dioda sygnalizacji stanu.



Jeżeli przy poprawnie przeprowadzonej procedurze testu przetwornik nie zachowa się zgodnie z opisem zawartym w kreatorze testu, **niezwłocznie musi zostać odesłany do producenta w celu naprawy.**

## 9. Testy modułu alarmowego.

- 9.1. Celem testu jest sprawdzenie funkcjonowania modułu alarmowego. Z menu zakładki „**SIL Proof Test**” należy wybrać opcję „**Test modułów alarmowych**”. W zależności od stosowanej w procesie pomiarowym konfiguracji czujnika temperatury należy podłączyć odpowiednio pod zaciski pomiarowe przetwornika czujniki zastępcze symulujące czujniki obiektowe. Przetwornik zasilić napięciem 15,00 V DC mierzonym na zaciskach zasilacza. Należy postępować zgodnie z instrukcjami kreatora, który w kolejnych krokach wykona test podstawowego i zapasowego modułu alarmowego. Efektem testu powinien być prąd alarmowy wynoszący nominalnie 3,280 mA oraz świecąca stale w kolorze czerwonym dioda sygnalizacji stanu lub w przypadku alarmu krytycznego - prąd alarmowy wynoszący około 0,300 mA.



Jeżeli przy poprawnie przeprowadzonej procedurze testu przetwornik nie zachowa się zgodnie z opisem zawartym w kreatorze testu, **niezwłocznie musi zostać odesłany do producenta w celu naprawy.**

10. Ustawić programowe zabezpieczenie przed zapisem do przetwornika za pomocą komendy **HART** (oprogramowanie Raport 2 produkcji APLISENS S.A). W tym celu w zakładce „**SIL Proof Test**” z menu należy wybrać opcję „**Blokada zapisu**”. Uruchomiony zostanie kreator operacji. Należy postępować zgodnie z instrukcjami kreatora, który w kolejnych krokach zapyta o intencje operatora i wykona niezbędne działania. Po poprawnym zakończeniu testów kreator testu wygeneruje raport z testu i ustawi przetwornik w tryb gotowości do włączenia w pętlę bezpieczeństwa funkcjonalnego.
11. Zamontować przetwornik i podłączyć do niego czujniki zgodnie z przeznaczeniem. Skonfigurować PLC pracujący w pętli bezpieczeństwa w tryb pozwalający odczytywać pomiary i alarmy z użytego w teście przetwornika. Udokumentować i zarchiwizować wyniki testu.

Lista kontrolna czynności do wykonania dla Testu sprawdzającego (Proof Test) jest dostępna w oprogramowaniu **Proof Test**.

## ZAŁĄCZNIK B. Schemat blokowy testu sprawdzającego (Proof Test).

